

潜熱蓄熱材を用いた小型ビニールハウスにおける効率的な 温度管理について

兵庫県立神戸高等学校 総合理学科 2 年

福家光士郎 大戸由己 平塚秀樹 藤原歩 山本武

緒言

温室栽培に使われるビニールハウスの暖房設備は、設備費、電気代など、様々なコストがかかり、特に規模の小さい個人農家には到底使えない。しかし、潜熱蓄熱材（以下 PCM とする）を使えば、この問題を解決することができるのではないか、と考え、今回の研究を行った。

また、PCM の配置がビニールハウスの保温効果に影響を与えると考え、PCM の配置を変更しながら測定を行い、最も保温効果の高い PCM の配置を調査している。

この研究をするにあたって、類似した内容の先行研究を調査した。その結果、ハウス内に直接設置して利用する PCM についての先行研究はなかったが、一方でハウス内に直接設置して利用する PCM の製品は多くあったため、私たちはそういった製品の保温効果に着目して今回研究を行った。

家庭菜園などに使われているような小型のビニールハウスに、PCM を配置し、屋外に設置した。私たちは、このときの PCM の配置パターンに着目した。「設置」というそこまでの労力がかからないところに工夫を凝らすことで、より効率的な温度管理を追求できるのではないだろうか。

そこで、PCM を方角・個数・前後・上下などの項目ごとにパターン分けをしてビニールハウスに配置し、屋外に設置した。このときの 1 日を通した温度変化を記録し、そのデータを様々な角度で分析し、温度管理の効率を検証した。

研究方針

研究方針

私たちの研究では、PCM をビニールハウスに直接設置する。このとき、その配置パターンは様々なものが考えられる。そこで、研究目的を

「潜熱蓄熱材（PCM）を小型ビニールハウスで運用する上で、効率を最もよくするのはどのような配置か」とした。

研究方法（概略）

先ほどの方針に従って、私たちはいくつかの実験を考えた。

- ・東西固定・上下段配置パターン実験
- ・東西・南北配置パターン比較実験

・南北固定、側面・中央比較実験

この 3 つの実験において、私たちはいくつかのパラメーターを設定し、配置パターンを組み立てた。そのパラメーターは、

- ・ハウス内での上段・下段
- ・ハウス内で PCM の方角
- ・ハウス内での壁側・中央 である。

今回はこれらの条件を様々に変えて、ハウス内の 1 日を通した温度を測定した。

またこの時、測定されたデータをもとに、室内の空気の流れを視覚化するシミュレーションを作り、温度変化が PCM によってもたらされたものであることを確かめることにした。

実験詳細

予備実験

本実験の実施に当たり、既製品の PCM を使う以上、その性質について理解を深め、効率の評価の材料にするため、いくつかの予備実験を行うことにした。

- ・実験に使用する PCM の融点測定
- ・実験に使用する PCM の放熱量・吸熱量測定

どちらも、温度変化のデータを分析するうえでは必要なものとなる。

実験に使用する PCM の詳細

「**潜熱蓄熱材 (PCM)**」とは物質の相変化を利用して、固体から液体になるときには、周囲に熱を放出し、液体から固体になるときには、周囲から熱を吸収するものである。

実験には既製品の PCM を使うこととした。そこで使ったのが「ヤノ技研 エネバンク D 型-EB-27」。黒いタンクに詰められており、大きさは縦 280 mm×横 145 mm×厚さ 27 mm。中に入っているのは**酢酸ナトリウム三水和物**。しかし、この物質の融点は 27 度ではないため、予備実験による確認は必須である。

予備実験 1 PCM の融点測定

準備物

- ・試験管 ・ビーカー ・ホットスターラー
- ・温度計 ・PCM (タンクから中身を取り出す)

実験方法

ビーカーに水を入れ、試験管に入れた PCM の中身を浸ける。

figure 3

ビーカー全体をホットスターラーで一定の時間当たりの熱量で温め、その後空気中にさらし冷やすことで水 1 の温度変化を認





し、そのグラフからPCMの融点のおよその範囲を求める。

figure 2

・結果

Figure 3

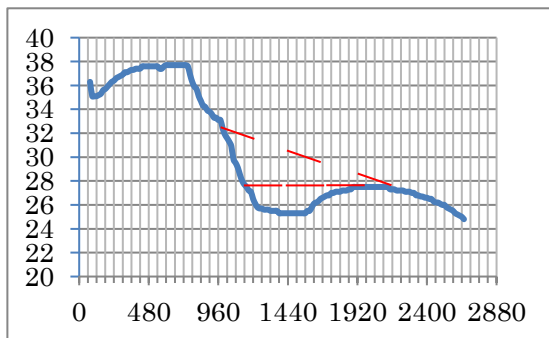
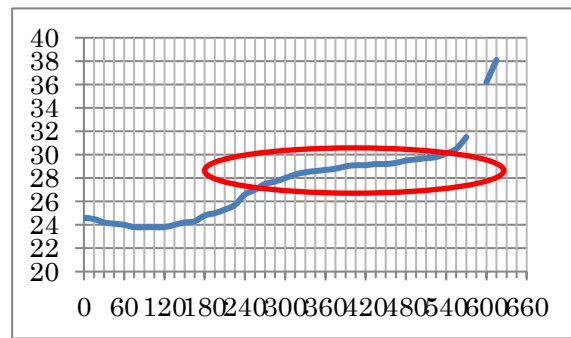


figure 4



グラフから判断すると、PCMの融点はおおよそ

27℃～30℃と考えられる。

予備実験 2 PCM の放熱量・吸熱量測定

準備物

- ・ポット ・ホットアセロラ ・ビーカー
- ・水槽 ・温度計

実験方法

①PCM本体をストーブで温める。

水槽に水を張り、温めたPCMを入れ、水とPCMの温度変化を見る。

②水をホットスターラー、ポットで温め、それらを水槽に入れ、その中にPCMを入れて温度変化を見る。

③②と同様に水を温め、お湯のみを水槽に入れ、水の温度変化を見ることで、空気中に放出される熱量を求める。

・ 結 果

table 1

figure 4



温度	水の質量	実験前の P C M	実験前の水	実験後の P C M	実験後の水
①	7000	40.1	10.6	16.9	15.6
②	4815.4	11.2	74.7	45.8	44.8
③	4742.5		74.7		51.1

②と③の実験時間は同じにしている

・ 考察

③より、一定時間において水槽の水が空気中に放出する熱量は、
 $4742.6 \times 4.186 \times (74.7 - 51.1) = 468519.55696$

②と③で水が空気中に放出した熱量を同じとすると、P C Mの温度上昇に使われた熱量は、
 $4815.4 \times 4.186 \times (74.7 - 44.8) - 468519.55696 = 134182.6 \dots \dots$
 $= 1.34 \times 10^5$

よって、②においてP C Mが吸収した熱量は、約 134 k Jである。

①において、水が吸収した熱量は $7000 \times 4.186 \times (15.6 - 10.6) = 146510$

水はほぼ室温に保たれているため、空気中への熱の放出を無視すると、P C Mが放出した熱量は、約 1.5×10^2 k J

本実験

本実験（概略）

小型の家庭用ビニールハウス（武田コーポレーション（フラワースタンド・ガーデンラック・家庭菜園・温室）ビニール温室用 2 段）の内部に PCM（エネバンク D 型・EB-27 矢野技研）を設置した。ビニールハウス毎に PCM の配置を変え、それぞれのビニールハウスに対し複数台の温度計を配置し、一定時間おきに室温を測定・記録し続けることで、1 日ごとの各パターンの温度変化を比較、さらに後述するシミュレーションの結果を踏まえ、配置による保温性能の違いを評価する。実験場所は兵庫県立神戸高等学校の科学棟の屋上である。



figure 5

本実験 1 （東西固定・上下段配置パターン実験）

実験 1 は PCM の配置を下の 4 通りに分け、10 月～11 月に断続的に計測した。

- ・ 上下段に 4 基ずつ、計 8 基を配置
- ・ 上段に 4 基を配置

- ・下段に 4 基を配置
- ・ PCM を配置しない

これらの結果を比較することで PCM を上部、下部のどちらに設置するのがより効果的か、PCM を入れるのと入れないのとではどれくらいの差が生まれるのかを解明したいと考えた。

本実験 2 （東西・南北配置パターン比較実験）

実験 2 は PCM の配置を下の 4 通りに分け、12 月中旬に断続的に計測した。

- ・東上段に 2 台、下段に 1 台、西上段に 1 台、下段に 2 台の計 6 基
- ・南側に上下段ともに 3 台ずつ計 6 基
- ・北側に上下段ともに 3 台ずつ計 6 基
- ・ PCM なし

これらの結果を比較することで、PCM を設置すべき方角を考察しようと考えた。

本実験 3 （南北固定、側面・中央比較実験）

実験 3 は、次の 2 通りで 12/14～1/18 に測定を行った。

- ・南側に上下段ともに 3 台ずつ計 6 基
- ・ビニールハウス中央部に上下段 3 台ずつ計 6 基

シミュレーション

記録温度計による温度変化だけでは、室内温度の変化が PCM の保温性能によるものであるか不明瞭なところを、室内の空気の流れをシミュレートすることで視覚化し、より正確に評価できるようにすることを目的としたものである。

使用したソフトは「blender」は 3D モデル作成、レイアウト、アニメーション、シミュレーション、レンダリング、デジタル合成(コンポジット)などの機能を備えた統合型 3DCG ソフトウェアである。

ビニールハウスの再現

このソフトは様々なことが出来る、まずはビニールハウスそのものを作る。円柱のオブジェクトの組み合わせで使っていた支柱を再現し、平面のオブジェクトの組み合わせでビニールを再現した。また、ビニールの 3D モデルには「クロスシミュレーション」という、布のような動きを作る機能を使って、ビニールのような性質を再現した。

中の気体の再現

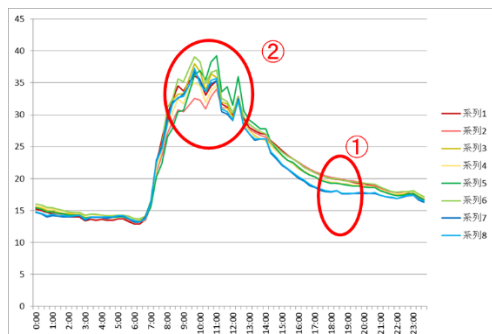
このソフトは物理シミュレーションを搭載しており、その中のひとつに、「パーティクルシステム」というものがある。微粒子の動きを再現できるシステムで、様々な設定が可能である。気体のような動きもさせることが可能で、これを用いて中に気体が入っている状況が再現できる。

しかしこれでは、実験の再現とは言えない。そこで、実験でとれた温度データをもとに、それを再現することとした。温度の値から導けるものの中に、粒子の速度がある。このシステムでは、粒子の初期速度を設定できる。計測開始時の温度から導き出した温度をもとに算出した速度を設定する。そして、全ての計測時刻における粒子の速度を反映させる。

しかし、このシステムは途中の時点での速度を設定できない。そこで、「フォースフィールド」という機能を使った。こちらは、パーティクルシステムで作り出した粒子を加速、もしくは減速できるものである。これを用いて、各計測時刻での速度のなるように、粒子を加速・減速させることを繰り返す。これによって、温度計のデータから、実験を再現したシミュレーションを作る。

本実験結果

本実験 1 （東西固定・上下段配置パターン実験）



PCM の有無での比較

PCM ありの場合、全体の傾向として夕方から晩にかけての温度変化はなだらかであり、その温度差にして平均約+1℃ほどあった。

配置パターンごとの比較

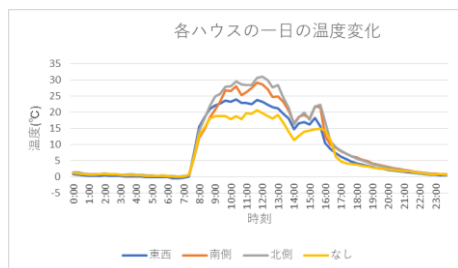
全組み合わせパターンの中で、計測時間ごとに最も室温の高かった温度計を調べてみると、下段のみに PCM を設置したものの中に設置されていた温度計、特にその中でも、下段側につけられていたが多くを占めていた。

さらに、同じ温度計で、各計測時刻の間での温度変化の大きさの絶対値を調べてみても、下段のみに PCM を設置したものの値は一定で、一番小さかった。

個数での比較

8 個用意しても、4 個と放熱効果は大して変わっていなかった。しかし、②の部分を見ると、蓄熱効果は 8 個の方が高い。4 個の場合つけた側の段の温度が上昇するが、昼は逆に温度が高くなりすぎる。特に晴れた日にそれが顕著であった。

本実験 2 （東西・南北配置パターン比較実験）



①東西に設置したもの、南と北に設置したものは、PCM がない場合と比べて、東西は PCM なしと気温の日較差が同じほどであったが、南と北に設置したものは PCM なしのものより

も日中の気温が高くなっていた。

それぞれ1日の中での気温の上下の仕方には、共通点が見られた。

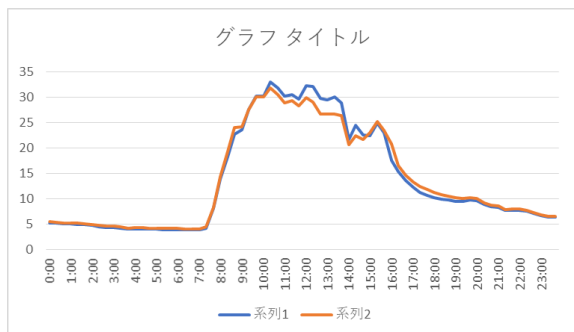
②日の出の直後午前7時半頃から気温が急激に上昇し、午前中はその高い気温を維持することである。

③本来地表で最も気温が高くなる14時頃にビニールハウスは一度気温が下がり、16時頃に再び一度上昇して日の入りを過ぎると急激に気温が低下している日が多いことである。

④また、ビニールハウス内の温度計の上下の差を見ると、まずPCMなしのものについて、上下の気温の高低は日によってバラバラであり、天候による違いなども見られなかった。

東西のものについて、ほとんどの日で午前中は下段の方が高く、11時頃に逆転して上段の方が高くなり、またその差の絶対値は他の三つよりも小さかった。ここから、東西のものでは、対流が生まれているのではないかと考えた。南のものと北のものを比較すると、どちらも基本的に上段の方が一日の中で最大8℃ほど高くなる傾向にあるが、北に設置したビニールハウスの方が南のものよりも下段に対する上段の相対温度が早く高くなる傾向にあった。

本実験3 (南北固定、側面・中央比較実験)



PCM をビニールハウス内の側面に設置した方（青）が、中央（オレンジ）よりも、日中の日の出ている時間は、室温は高くなっていた。夕方になってくると、天気に関係なく、

PCM をビニールハウス内の側面に設置した方（青）が、中央（オレンジ）よりも、室温は低くなった。

考察

本実験1について

PCMの有無によって、温度変化が緩やかになったことは、その有用性が確かにあることが分かる。また、東西方向に設置し、太陽光の差し込む方向と垂直に設置したとしても、効果を発揮できるということとなる。

配置パターンで見ても、下段のみ設置が最も温度が安定した。これは何故か。閉じられた室内の温度変化には、空気の対流である。温かい空気は下から上に流れるものなので、対流が起きやすかったと考えられる。

個数で見た場合、各計測時刻での温度で最大、もしくは最小の値の温度計がどれだったのかを比較したところ、上下段共にPCM設置とPCMなしのものは、その差が特に激しい

ので、温度変化が非常に極端であった。これはなしのものは PCM がないために、上下段共に PCM 設置のものは 8 個の PCM では蓄熱過剰となり、放熱も時間が足りず、十分に行えなかったと考えられる。

本実験 2 について

①は日光が直接当たるため、PCM 本体が日光を吸収してしまったためと考えられる。

②については、これは PCM なしにも言えることなので、午前中は日射が大きく関係しているのかもしれないと考えた。

③これは日照時間の関係から吸熱するのが 14 時頃になり、その後再び上昇するためか、太陽高度が関係しているのかが気になった。

本実験 3 について

PCM を壁側と中央に置くのとで違いが生まれた理由は何だったのか。

日中、日没後のことも含めて考えると、太陽光のあたり具合に加えて、外気への近さという点も関係しているのではないだろうか。日中は、太陽光もよく当たり、南北方向に設置した 2 つに蓄熱においては、ほぼ同じ効果だったであると考えられる。しかし、壁側に設置したものは、南側（ビニールハウスの奥）にあったので、中央に置いたものよりも、室内の空気により多くの日光が当たったため、温度が上がったのだろう。一方、日没後は、中央に置いたものよりも壁側に置いた方が冷えた外気に近く、放熱した熱も、そちらに奪われてしまったのだろう。ただ、本実験全体ではと比較すると、室温は高いが、上がり下がりとは比較的激しかった。

効率の評価

本実験と考察を踏まえると、前提条件として、

- ・冬の実験のために、気温が低かった。

- ・晴れの日が多かった。

これらを考慮すると、最も効率が良いのは

①側面設置である

②PCM の個数が多くない。

③温度変化が少なく、温度差の絶対値も小さかった。

④対流が生まれやすい

⑤東西で、日が当たりすぎない

などより、本実験 1③下段のみ設置（PCM 計 4 個）と、今回は考えられる。

謝辞

この度、私たちの研究を支えてくださった、神戸高校の教員の皆様、様々な場面で困っていたり、迷走しようとしていた私たちに様々なアドバイスをくれたサイエンスアドバイザーの皆様、大変感謝しております。ここまで形にできたのも、やりたいことが出来たのも、みなさまの支え無ければなしえなかったことです。本当にありがとうございました。

参考文献

株式会社 ヤノ技研ホームページ より <http://www.yano-giken.com/>

<http://www.yano-giken.com/product/detail02.html>

§ 気体分子の速度分布則

<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://rokamoto.sakura.ne.jp/education/PhysicsIIA/gas-mol-distribution140804.pdf&ved=2ahUKEwiG8vHZ7rTuAhWlQN4KHeMKBpwQFjAXegQlJBAB&usg=AOvVaw3kx8EzLmrIovyBO-bGTyOC>